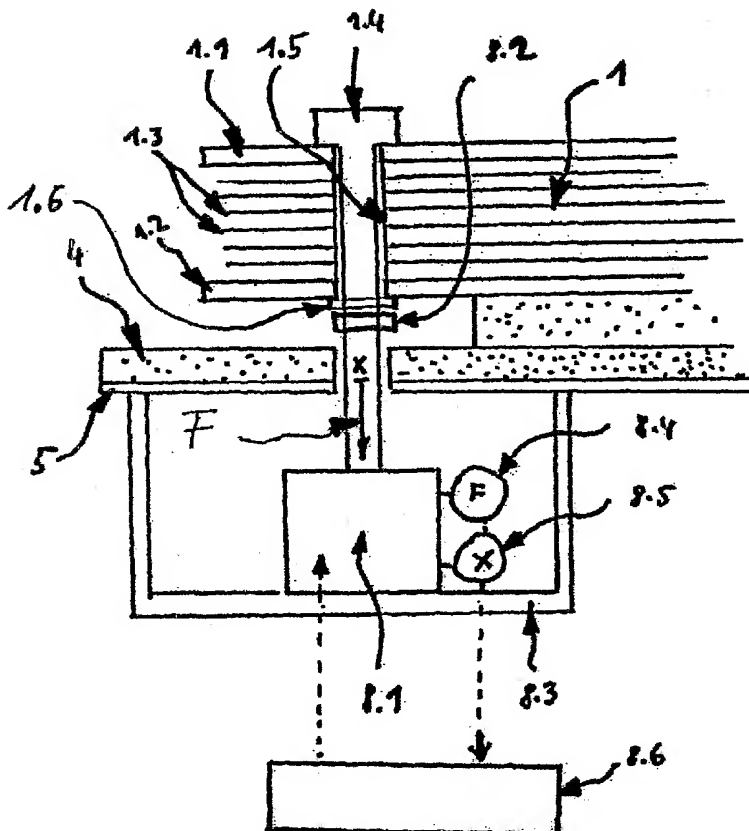




(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/013390 A2

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG EINES BRENNSTOFFZELLENSTAPELS



(57) Abstract: The invention relates to a method for the production of a fuel cell stack, involving the following steps: a) piling up the fuel cell stack (1) and (b) putting together the fuel cell stack (1) while heating and compressing the piled fuel cell stack (1). According to the invention, at least one regulated force is applied to the piled fuel cell stack (1) during the compression thereof..

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels, mit den Schritten: a) Aufstapeln eines Brennstoffzellenstapels (1), und (b) Fügen des Brennstoffzellenstapels (1) unter Erhitzen und Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1). Erfindungsgemäss ist vorgesehen, dass das Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels das Anlegen von zumindest einer geregelten Kraftkomponenten (F') an den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) umfasst.



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels, mit den Schritten: a) Aufstapeln eines Brennstoffzellenstapels, und b) Fügen des Brennstoffzellenstapels unter Erhitzen und Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels, insbesondere eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, mit einer Heizeinrichtung zum Erhitzen eines aufgestapelten Brennstoffzellenstapels und einer Einrichtung zum Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels.

Beispielsweise bekannte SOFC-Brennstoffzellenstapel (SOFC = "Solid Oxide Fuel Cell") umfassen in der Regel mehrere Brennstoffzellenelemente mit jeweils dazwischen angeordneten Dichtungen sowie ein Paar Endplatten und Stromabnehmerplatten. Derartige Brennstoffzellenstapel werden durch bekannte Herstellungsverfahren beispielsweise wie folgt hergestellt: Zunächst wird der Brennstoffzellenstapel kalt aufgestapelt. Dabei befinden sich die Anodenseiten der Brennstoffzellen noch im unreduzierten Zustand (zum Beispiel NiO statt Ni). Kompressible Dichtungen sind noch unkomprimiert und Glasdichtungen, wie zum Beispiel Glaspaste oder Glaslot, sind noch ungebrannt, das heißt grün. Bei den bekannten Herstellungsverfahren werden die aufgestapelten Brennstoffzellenstapel anschließend in einem Ofen erhitzt, bis die Glaspaste beziehungsweise

- 2 -

se das Glaslot aufschmilzt. Dabei wird der Brennstoffzellenstapel unter mechanischer Last komprimiert, so dass die Dichtungen aufschmelzen und abdichten. Gleichzeitig oder nachfolgend wird in den Anodenraum des Brennstoffzellenstapels ein reduzierendes Gas eingebracht, zum Beispiel Wasserstoff, wodurch die Anode reduziert wird, beispielsweise von NiO zu Ni. Gegebenenfalls liegt
5 die mechanische Last während des Reduktionsvorgangs weiter an, das heißt, es erfolgt eine weitere Kompression des Brennstoffzellenstapels, um eine Abnahme der Dicke der Brennstoffzellen beim Schrumpfen auszugleichen.

- 10 Eine bekannte Möglichkeit zur Kompression eines aufgestapelten Brennstoffzellenstapels ist beispielsweise aus der US 4,615,107 bekannt.

Ein Problem bei den bekannten Verfahren und Vorrichtungen zur Herstellung von Brennstoffzellenstapeln besteht darin, dass das Fügen des Brennstoffzellenstapels unkontrolliert und ohne die Möglichkeit erfolgt, in den Prozess ein-
15 greifen zu können, weshalb es zu hohen Ausschussraten kommt. Weiterhin kann beispielsweise eine Prüfung des Brennstoffzellenstapels auf Gasdichtheit erst nach Abschluss des Fügevorgangs erfolgen.

- 20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die gattungsgemäßen Verfahren und Vorrichtungen derart weiterzubilden, dass die bei der Herstellung von Brennstoffzellenstapeln bisher in Kauf genommenen hohen Ausschussraten verringert und dadurch die Kosten gesenkt werden.

- 25 Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

- 30 Das erfindungsgemäße Verfahren baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass das Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzel-

lenstapels das Anlegen von zumindest einer geregelten Kraftkomponente an den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel umfasst. Die Regelung der die Kompression bewirkenden Kraft bietet den Vorteil, schon während des Fügevorgangs in Abhängigkeit von momentan erzielten Fügeergebnissen (automatisch) in den Produktionsvorgang eingreifen zu können. Beispielsweise kann die die Kompression des Brennstoffzellenstapels bewirkende Kraft solange erhöht werden, bis anhand des aktuellen Fügeergebnisses die Dichtheit des Brennstoffzellenstapels mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann oder sogar messtechnisch nachgewiesen wurde.

Bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass in die Regelung der zumindest einen Kraftkomponente eine über zumindest einen Kraftsensor erfasste Verspannung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels eingeht. Der oder die Kraftsensoren können dabei beispielsweise zwischen dem aufgestapelten Brennstoffzellenstapel und einer Anlagefläche vorgesehen werden, gegen die der Brennstoffzellenstapel durch die geregelte Kraftkomponente gedrückt wird.

Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass in die Regelung der zumindest einen Kraftkomponente eine über zumindest einen Streckensensor erfasste Änderung einer Abmessung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels eingeht. Die Veränderungen der Abmessungen des Brennstoffzellenstapels lassen in vielen Fällen auf das erzielte Fügeergebnis schließen. Alternativ zum Einsatz von einem oder mehreren Streckensensoren können in diesem Zusammenhang auch andere zur Erfassung der Abmessungen des Brennstoffzellenstapels geeignete Sensoren eingesetzt werden, beispielsweise optische Sensoren.

Eine ebenfalls bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die zumindest eine geregelte Kraftkomponente durch eine Druck- und/oder Zugeinrichtung erzeugt und vorzugsweise über zumindest ei-

nen Zuganker auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel übertragen wird. Dabei kann die Druck- und/oder Zugeinrichtung die geregelte Kraftkomponente auf unterschiedliche dem Fachmann geläufige Arten erzeugen, beispielsweise hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch. Wenn die zumindest eine geregelte Kraftkomponente durch Zug erzeugt wird, ist der Einsatz von zumindest einem Zuganker vorteilhaft. Dies gilt insbesondere, wenn vorgesehen ist, dass der zumindest eine Zuganker auch nach Abschluss des Herstellungsverfahrens dazu bestimmt ist, die Verspannung des Brennstoffzellenstapels aufrechtzuerhalten.

In diesem Zusammenhang wird es als besonders vorteilhaft erachtet, dass sich der zumindest eine Zuganker durch eine im dem aufgestapelten Brennstoffzellenstapel vorgesehene Ausnehmung erstreckt. Insbesondere wenn die Ausnehmung in dem Brennstoffzellenstapel zentral angeordnet ist, ist der Einsatz von nur einem Zuganker zur Kompression des Brennstoffzellenstapels beim Fügevorgang sowie zur Aufrechterhaltung der Verspannung des Brennstoffzellenstapels nach dem Herstellungsvorgang in vielen Fällen ausreichend.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet sein, dass es weiterhin den folgenden während und/oder nach dem Schritt b) durchgeführten Schritt umfasst: c) Überprüfen des bereits zumindest teilweise gefügten Brennstoffzellenstapels auf Gasdichtheit. In diesem Zusammenhang wird es besonders bevorzugt, wenn die Überprüfung auf Gasdichtheit noch während des Fügens erfolgt, das heißt zu einem Zeitpunkt, zu dem der Brennstoffzellenstapel gegebenenfalls noch weiter komprimiert werden kann, falls die erforderliche Gasdichtheit noch nicht sichergestellt ist.

In diesem Zusammenhang wird bevorzugt, dass der Schritt c) umfasst, dass der Brennstoffzellenstapel mit einem Gas geflutet wird, vorzugsweise mit einem inerten Prüfgas, und dass eine eventuelle Undichtigkeit des Brennstoffzellenstapels über einen Druckabfall des Gases erfasst wird.

In diesem Zusammenhang sieht eine bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass im Falle einer erfassten Undichtigkeit des Brennstoffzellenstapels der Brennstoffzellenstapel weiter erhitzt und/oder der
5 Brennstoffzellenstapel weiter komprimiert wird. Auch in diesem Fall erfolgt die weitere Kompression vorzugsweise geregelt, wobei der Druckverlust zusätzlich oder alternativ in die Regelung eingehen kann.

Für das erfindungsgemäße Verfahren wird ebenfalls bevorzugt, dass es weiterhin den folgenden während und/oder nach dem Schritt b) und vorzugsweise
10 während und/oder nach dem Schritt c) durchgeführten Schritt umfasst: d) chemisches Formieren der Brennstoffzellen des Brennstoffzellenstapels durch einbringen eines reduzierenden Gases, insbesondere eines reduzierenden Gasgemisches wie Wasserstoff und Stickstoff, in die Brennstoffzellen des Brennstoffzellenstapels. Es ist vorteilhaft, die Dichtheit des Brennstoffzellenstapels
15 auch während des Formiervorgangs weiterhin zu überwachen, beispielsweise indem ein Austritt des reduzierenden Gases detektiert wird, um auch zu diesem Zeitpunkt des Herstellungsvorgangs noch geeignete Gegenmaßnahmen treffen zu können. Diese können beispielsweise in einer weiteren geregelten Kompression des Brennstoffzellenstapels bestehen. Daher ist es ebenfalls vorteilhaft,
20 auch die Verspannung des Brennstoffzellenstapels weiter zu überwachen.

Für das erfindungsgemäße Verfahren wird es weiterhin als vorteilhaft erachtet, wenn vorgesehen ist, dass eine durch den Schritt d) hervorgerufene Volumen-
25 änderung des Brennstoffzellenstapels durch eine entsprechende Kompression des Brennstoffzellenstapels zumindest teilweise ausgeglichen wird. Auch in diesem Zusammenhang erfolgt die Kompression vorzugsweise geregelt im Sinne der Erfindung.

30 Für das erfindungsgemäße Verfahren wird ebenfalls bevorzugt, dass es weiterhin den folgenden nach dem Schritt d) durchgeführten Schritt umfasst: e) Prü-

fen der elektrischen Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellenstapels. Auf diese Weise kann die Güte des hergestellten Brennstoffzellenstapels in vergleichsweise einfacher Weise bestimmt werden.

- 5 Dabei wird bevorzugt, dass die Durchführung des Schrittes e) umfasst, dass eine Anodenseite des Brennstoffzellenstapels mit einem Brenngas und eine Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels mit einem Kathodengas beaufschlagt wird, und dass eine in dem Brennstoffzellenstapel entstehende Spannung und/oder ein dem Brennstoffzellenstapel entnehmbarer Strom gemessen
10 wird. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Prüfung der elektrischen Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellenstapels nur dann durchgeführt wird, wenn der Brennstoffzellenstapel nach dem Formieren noch dicht ist.

- Eine, vorstehend bereits erwähnte, bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst den folgenden weiteren Schritt: f) Verbinden des zumindest einen Zugankers mit zumindest einem Verriegelungselement, das die Verspannung des Brennstoffzellenstapels zumindest näherungsweise auch dann aufrechterhält, wenn der zumindest eine Zuganker von der Druck- und/oder Zugeinrichtung gelöst wird. Beispielsweise wenn der Zuganker
15 zumindest teilweise durch eine Gewindestange gebildet ist, kann das Verriegelungselement in einfacher Weise durch eine Mutter gebildet sein.

- Besondere Vorteile im Vergleich zu bekannten Herstellungsverfahren ergeben sich, wenn das erfindungsgemäße Verfahren vorsieht, dass zumindest die
25 Schritte b) und d), vorzugsweise jedoch zumindest die Schritte b), c), d) und e) in einer gasdichten Prozesskammer durchgeführt werden, vorzugsweise ohne die Prozesskammer zwischenzeitlich zu öffnen. Bei der Prozesskammer kann es sich um eine stationäre oder um eine Prozesskammer handeln, die während des Herstellungsprozesses zwischen mehreren Bearbeitungsstationen hin- und
30 herbewegt wird.

- 7 -

Die erfindungsgemäße Vorrichtung baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass die Einrichtung zum Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels eine Druck- und/oder Zugeinrichtung umfasst, die dazu geeignet ist, zumindest eine geregelte Kraftkomponente auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel auszuüben. Diese Lösung ermöglicht es, ebenso wie das erfindungsgemäße Verfahren, die Kompression des Brennstoffzellenstapels während dessen Herstellung solange geeignet zu variieren, bis der Brennstoffzellenstapel die gewünschten Eigenschaften aufweist. Dadurch gelingt es insbesondere, die bisher in Kauf genommenen hohen Ausschussraten deutlich zu senken. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielten Vorteile in gleicher oder ähnlicher Weise verwirklicht, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen auf die entsprechenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen wird.

15 Gleiches gilt sinngemäß für die folgenden bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei auch diesbezüglich auf die entsprechenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwiesen wird.

20 Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass der Druck- und/oder Zugeinrichtung zur Regelung der zumindest einen Kraftkomponente eine Regelungseinrichtung zugeordnet ist, welche die zumindest eine Kraftkomponente in Abhängigkeit von einer über zumindest einen Kraftsensor erfassten Verspannung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels und/oder in Abhängigkeit von einer über zumindest einen Streckensensor erfassten Änderung einer Abmessung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels regelt.

Dabei wird weiterhin bevorzugt, dass die Druck- und/oder Zugeinrichtung dazu geeignet ist, die zumindest eine geregelte Kraftkomponente über einen Zuganker auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel zu übertragen.

- 5 Bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sehen weiterhin vor, dass sie eine zur Aufnahme des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels vorgesehene gasdichte Prozesskammer und eine Gaszufuhreinrichtung aufweist, die dazu vorgesehen ist, die Prozesskammer und/oder einen in dieser angeordneten Brennstoffzellenstapel mit Gas zu fluten.

10

Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht dabei vor, dass sie eine Gasabfuhreinrichtung aufweist.

15

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist weiterhin dadurch in vorteilhafter Weise weitergebildet, dass sie eine elektrische Prüfeinrichtung aufweist.

20

Um einen kontinuierlichen Montageprozess zu gewährleisten, kann die erfindungsgemäße Vorrichtung so ausgebildet werden, dass sie eine Mehrzahl von beweglichen gasdichten Prozesskammern aufweist, die dazu vorgesehen sind, zur Durchführung einzelner Brennstoffzellenstapel-Herstellungsschritte zu verschiedenen Bearbeitungsstationen bewegt zu werden.

25

30

In diesem Zusammenhang wird es besonders bevorzugt, dass die Mehrzahl der gasdichten Prozesskammern in Form eines Karussells angeordnet ist. Dabei sind insbesondere Ausführungsformen denkbar, bei denen die Montage- beziehungsweise Prozesskammern an Armen des Karussells angeordnet sind. In diesem Fall können Gaszufuhr- und -abfuhrleitungen, sowie elektrische Leitungen in vorteilhafter Weise in der Nabe des Karussells angeordnet sein und sich sternförmig zu den einzelnen Prozesskammern erstrecken. Befindet sich das Karussell in einer bestimmten Position, so wird eine Prozesskammer geöffnet und ein Brennstoffzellenstapel in der Prozesskammer aufgestapelt oder ein be-

- 9 -

reits aufgestapelter Brennstoffzellenstapel in die Prozesskammer eingebracht. Anschließend wird die Prozesskammer wieder geschlossen und das Karussell in Bewegung gesetzt. Somit können alle Schritte zum Fügen und Prüfen in der Zeit ablaufen, die das Karussell für eine Umdrehung benötigt. In diesem Fall
5 kann der fertige Brennstoffzellenstapel an derselben Position entnommen werden, an der er kalt aufgesetzt wurde.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass ein wesentlicher Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung darin besteht, dass durch einen geregelten Fügevorgang die bei den bekannten Herstellungsverfahren in Kauf genommenen hohen Ausschusszahlen deutlich gesenkt werden können.
10

Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.
15

Dabei zeigt:

Figur 1 eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist;
20

Figur 2 eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur mechanischen Spannung und Überwachung eines Brennstoffzellestapels, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist;
25

Figur 3 eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur Gaszu- und -abfuhr, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist; und
30

- 10 -

Figur 4 eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur elektrischen Überwachung eines Brennstoffzellestapels, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist.

5

Figur 1 zeigt eine gasdichte Prozesskammer 11, die im Wesentlichen durch einen Tisch 5 und eine auf diesen aufgesetzte gasdichte Haube 2 gebildet ist. In der Prozesskammer 11 ist ein Brennstoffzellenstapel 1 aufgestapelt. Zwischen dem Tisch 5 und dem aufgestapelten Brennstoffzellenstapel 1 ist eine
10 Isolierplatte 4 angeordnet, durch die sich unter Abdichtung Leitungen und sonstige Verbindungsmittel erstrecken, die die Prozesskammer 11 beziehungsweise den in dieser angeordneten Brennstoffzellenstapel 1 mit einer Einrichtung 6 zur elektrischen Überwachung des Brennstoffzellenstapels 1, einer Einrichtung 7 zur Gaszu- und -abfuhr sowie einer Einrichtung 8 zur mechanischen Spannung
15 und Überwachung des Brennstoffzellenstapels 1 verbinden. Im oberen Bereich der gasdichten Haube 2 ist eine (weitere) Gaszufuhr 9 und eine (weitere) Gasabfuhr 10 angedeutet, wobei diese (weitere) Gaszufuhr 9 und (weitere) Gasabfuhr 10 gegebenenfalls der Einrichtung 7 zur Gaszu- und -abfuhr zugeordnet sein können. In der Prozesskammer 11 sind weiterhin Heizelemente 3 ange-
20 ordnet, mit denen die Prozesskammer 11 beziehungsweise ein in dieser angeordneter Brennstoffzellenstapel 1 erhitzt werden kann.

Die in Figur 1 dargestellte Vorrichtung wird nachfolgend anhand der Figuren 2 bis 4 näher erläutert, in denen einzelne Komponenten der in Figur 1 dargestellten Vorrichtung ausführlicher gezeigt sind.
25

Figur 2 zeigt eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur mechanischen Spannung und Überwachung eines Brennstoffzellestapels, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist. In Fi-
30 gur 2 ist der auf dem Tisch 5 beziehungsweise der Isolierplatte 4 angeordnete Brennstoffzellenstapel 1 nur teilweise dargestellt. Der Brennstoffzellenstapel 1

umfasst eine untere Grundplatte 1.2 und eine obere Deckplatte 1.1. Zwischen der unteren Grundplatte 1.2 und der oberen Deckplatte 1.1 sind die einzelnen Brennstoffzellen 1.3 angeordnet. Der Brennstoffzellenstapel 1 umfasst eine Ausnehmung 1.5 durch die sich im dargestellten Fall ein Zuganker 1.4 erstreckt, 5 der im fertig montierten Zustand die Verspannung des Brennstoffzellenstapels 1 übernimmt beziehungsweise aufrechterhält. Zu diesem Zweck ist ein Verriegelungselement 1.6 vorgesehen, das beispielsweise eine Mutter umfassen kann, wenn der Zuganker 1.4, zumindest in seinem unteren Abschnitt, durch eine Gewindestange gebildet ist. Der Zuganker 1.4 steht über ein Koppellement 8.2 10 lösbar mit der Zugeinrichtung 8.1 in Verbindung. Die Zugeinrichtung 8.1 ist über einen Trägerrahmen 8.3 kraftschlüssig mit dem Tisch 5 verbunden und dazu ausgelegt, eine geregelte Kraftkomponente F in einer Richtung x auf den Zuganker 1.4 und somit den Brennstoffzellenstapel 1 auszuüben. Dadurch wird der Brennstoffzellenstapel 1 mehr oder weniger verspannt. Die Zugeinrichtung 8.1 15 kann die geregelte Kraftkomponente F beispielsweise hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch erzeugen. Der Zugeinrichtung 8.1 wird von einer Regeleinrichtung 8.6 eine Stellgröße für die zu erzeugende Zugkraft zugeführt. Die Regeleinrichtung 8.6 erzeugt die Stellgröße bei der dargestellten Ausführungsform in Abhängigkeit von einer oder mehreren über wenigstens einen Kraftsensor 8.4 20 erfassten Kraft und einer über zumindest einen Wegsensor 8.5 erfassten Veränderung der Abmessungen des Brennstoffzellenstapels 1.

Figur 3 zeigt eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur Gaszu- und -abfuhr, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist. Gemäß der Darstellung von Figur 3 umfasst der Brennstoffzellenstapel 1 innere Kanäle 1.5 zur Führung eines Gases, insbesondere zur Führung eines Anodengases, die jeweils zumindest eine nach außen offene Seite aufweisen. Der Brennstoffzellenstapel 1 kann darüber hinaus weitere, nicht dargestellte, interne Kanäle zur Führung eines Kathodengases aufweisen. 25 Zusätzlich oder alternativ können die Kathodenseiten der Brennstoffzellen nach außen offen sein. Die internen Verteilkanäle 1.5 münden in lösbare Rohrverbin- 30

dungen 7.1 für die Anodengaszufuhrleitung 7.7 und lösbare Rohrverbindungen 7.2 für die Anodengasabfuhrleitung 7.8. Der Anodengaszufuhr ist ein Ventil 7.3 zugeordnet, während der Anodengasabfuhr ein Ventil 7.4 zugeordnet ist. Zwischen zumindest einer lösbaren Rohrverbindung, beispielsweise der lösbaren Rohrverbindung 7.1, und dem zugehörigen Absperrventil, beispielsweise dem Absperrventil 7.3, ist eine Druckmesseinrichtung 7.5 vorgesehen, die mit einem Gas-Steuer/Regelgerät 7.6 in Verbindung steht. Sofern der Brennstoffzellenstapel 1 nicht dargestellte, interne Verteilkanäle für Kathodengas aufweist, können auch diese über lösbare Rohrverbindungen mit einer externen Kathodengaszuführung und -abfuhr verbunden sein. Zur Steuerung beziehungsweise Regelung der Anodengasführung können weitere nicht dargestellte Ventile und Drucksensoren vorgesehen sein. Das Gas-Steuer/Regelgerät 7.6 ist dazu ausgelegt, die vorhandenen Ventile zu öffnen und zu schließen, insbesondere die dargestellten Ventile 7.3 und 7.4.

15

Figur 4 zeigt eine vereinfachte, schematische Prinzipdarstellung einer Einrichtung zur elektrischen Überwachung eines Brennstoffzellestapels, wobei diese Einrichtung Bestandteil der Vorrichtung von Figur 1 ist. Dabei zeigt Figur 4 den Randbereich eines auf der Isolierplatte 4 angeordneten Brennstoffzellenstapels 1. Die Deckplatte 1.1 ist über ein elektrisches Kontaktelement 6.2 mit einer Anschlussklemme D verbunden. In ähnlicher Weise ist die Grundplatte 1.2 über ein Kontaktelement 6.4 mit einer Anschlussklemme A verbunden. Weiterhin sind im dargestellten Fall zwei Einzelzellen 1.3 über Kontaktelement 6.3 mit Anschlussklemmen B und C verbunden. Die Kontaktelemente 6.2, 6.3 und 6.4 können gegebenenfalls durch einen oder mehrere Halter 6.1 mechanisch gestützt werden. Obwohl es im einfachsten Fall ausreichend wäre, nur eine Einzelzelle mit einem Kontaktelement in Verbindung zu bringen, wird bevorzugt, dass zumindest zwei Einzelzellen 1.3 elektrisch abgegriffen werden. An den Anschlussklemmen A bis D können zur Prüfung der Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellenstapels 1 Spannungen und/oder Ströme abgegriffen werden. Die Kontaktelemente 6.2, 6.3 und 6.4 bestehen vorzugsweise aus einer tempe-

30

raturfesten Legierung. Weiterhin sind sie vorzugsweise federnd ausgeführt, um bei minimalen Bewegungen des Brennstoffzellenstapels 1 während des Fertigungsprozesses stets einen elektrischen Kontakt aufrechtzuerhalten.

- 5 Nachfolgend wird die Funktionsweise der in den Figuren 2 bis 4 dargestellten Komponenten der Vorrichtung von Figur 1 sowie eine Möglichkeit zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert.

Brennstoffzellenstapel fügen

10

- Zunächst wird der Brennstoffzellenstapel kalt aufgestapelt, das heißt die im un-reduzierten Zustand befindlichen Einzelzellen 1.3 sowie die Grundplatte 1.2 und die Deckplatte 1.1 werden aufgestapelt, wobei Glaslot als Paste appliziert beziehungsweise als Folie mit aufgestapelt wird. Anschließend wird der aufgestapelte Brennstoffzellenstapel 1 auf die Isolierplatte 4 gesetzt. Obwohl die Erfindung nicht auf derartige Ausführungsformen beschränkt ist, wird im dargestellten Fall nur ein Zuganker 1.4 mit dem zugehörigen Koppelstück 8.2 der Zugeinrichtung 8.1 verbunden (Figur 2). Anschließend werden die lösbaren gasdichten Verbindungen 7.1 und 7.2 hergestellt, wobei die Ventile 7.3 und 7.4 zunächst geschlossen sind (Figur 3). Weiterhin werden die elektrischen Kontakte 6.2, 6.3 und 6.4 aufgesetzt (Figur 4). Anschließend wird die Haube 2 geschlossen (Figur 1). Über die Gaszufuhr 9 kann die Prozesskammer 11 mit einem Inertgas geflutet werden, wobei über die Gasabfuhr 10 eine Gaspendelung durchgeführt werden kann. Wenn die gegebenenfalls vorgeheizten Heizelement 3 eingeschaltete werden, wird die Prozesskammer 11 und somit der in dieser angeordnete aufgestapelte Brennstoffzellenstapel 1 erhitzt. Dadurch beginnt das Glaslot zu schmelzen. Nun wird die Zugeinrichtung 8.1 aktiviert, wodurch diese beginnt, den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel 1 zu komprimieren und somit zu verspannen. Dadurch wird die durch die Schrumpfung des Glaslots bedingte Längenabnahme des Brennstoffzellenstapels 1 zumindest größtenteils ausgeglichen. Über den Kraftsensor 8.4 und den Wegsensor 8.5 wird die Kraft-Weg-
- 15
- 20
- 25
- 30

Kurve der Verspannung des Brennstoffzellenstapels 1 erfasst. Bei Ausführungsformen, bei denen mehrere Zuganker vorgesehen sind, erfolgt dies vorzugsweise für jeden Zuganker. Die Kraft-Weg-Kurve wird mit einer oder mit mehreren vordefinierten Soll-Kurven verglichen. Sollten sich Abweichungen ergeben, so
5 deutet dies auf einen ungleichmäßige Verspannung des Brennstoffzellenstapels 1 hin. In diesem Fall können geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Beispielsweise kann die durch die zumindest eine Zugeinrichtung erzeugte Kraftkomponente vergrößert oder verkleinert werden. Obwohl dies nicht dargestellt ist, wird es als vorteilhaft erachtet, mehrere Zuganker und gegebenenfalls
10 mehrere Zugeinrichtung vorzusehen, weil einer ungleichmäßigen Verspannung des Brennstoffzellenstapels 1 in diesem Fall besonders wirksam entgegengewirkt werden kann.

Brennstoffzellestapel auf Dichtheit prüfen

15

Ist ein Zustand erreicht, in dem die Glasdichtungen soweit aufgeschmolzen sind, dass die Gasdichtheit des Brennstoffzellenstapels 1 anzunehmen ist, wird der Brennstoffzellenstapel 1 durch Öffnen der Ventile 7.3 und 7.4 mit einem inerten Prüfgas geflutet (Figur 3). Es wird solange Gas zugeführt, bis ein bestimmter Druck erreicht ist. Dann werden die Ventile 7.3 und 7.4 geschlossen.
20 Gegebenenfalls kann das Prüfgas vorgewärmt sein, um Temperaturschocks im Brennstoffzellenstapel zu vermeiden. Der Druck im Brennstoffzellenstapel 1 wird über den Drucksensor 7.5 erfasst und in dem Gas-Steuer/Regelgerät 7.6 ausgewertet. Übersteigt ein über einen vorgegebenen Zeitraum erfasster
25 Druckabfall einen Grenzwert, wird auf einen undichten Brennstoffzellenstapel geschlossen. Zusätzlich oder alternativ zur Erfassung eines Druckabfalls kann ein Prüfgas verwendet werden, das bei einer Undichtigkeit in die Prozesskammer 11 übertritt. Über die Gasabfuhr 10 können Spuren des Prüfgases abgesaugt und über einen nicht dargestellten Gassensor mengenmäßig erfasst werden.
30 Der Grad des Druckabfalls beziehungsweise die Menge des ausgetretenen Prüfgases ist ein Maß für die Dichtheit des Brennstoffzellenstapels 1. So-

- 15 -

fern eine Undichtigkeit festgestellt wurde, können noch im Prozess Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Beispielsweise kann eine stärkere Verpressung vorgenommen, eine längere Zeit zum Aufschmelzen der Dichtungen gewählt und/oder die Temperatur erhöht werden. Lassen sich die gewünschten Eigenschaften des Brennstoffzellenstapels 1 trotz der Einleitung von Gegenmaßnahmen nicht erzielen, so kann der Prozess notfalls abgebrochen werden. Sofern für die Führung des Kathodengases im Brennstoffzellenstapel 1 interne Kanäle vorgesehen sind, kann die Prüfung des Brennstoffzellenstapels 1 auf Dichtheit sinngemäß erfolgen.

10

Brennstoffzellenstapel formieren

Sofern die Dichtheitskriterien erfüllt sind, kann im nächsten Schritt eine chemische Formierung der Brennstoffzellen erfolgen, das heißt eine Reduktion. Zu diesem Zweck wird die mechanische Verspannung des Brennstoffzellenstapels 1 weiter überwacht (Figur 2), über die Ventile 7.3 und 7.4 (Figur 3) wird jedoch nun ein vorzugsweise kontinuierlicher Strom eines reduzierenden Gases, vorzugsweise eines reduzierenden Gasgemisches wie Wasserstoff und Stickstoff, durch den dichten Brennstoffzellenstapel 1 geleitet. Das Formiergas kann gegebenenfalls vorgewärmt sein, um Temperaturschocks im Brennstoffzellenstapel 1 zu vermeiden. Insbesondere wenn das Formiergas feuer- oder explosionsgefährlich ist, muss ein Austreten des Formiergases aus der Prozesskammer 11 sicher vermieden werden. Zu diesem Zweck kann in der Prozesskammer 11 über die Gaspendelung 9 und 10 ein Unterdruck aufrechterhalten werden. Dies führt dazu, dass bei einer eventuell auftretenden Leckage des Brennstoffzellenstapels 1 während der Formierung austretendes Wasserstoffgas durch die in die Prozesskammer 11 eintretende Luft sofort verbrannt wird. Zusätzlich oder alternativ kann in der Prozesskammer 11 ein stetiger Gasaustausch über die Pendelung 9 und 10 sichergestellt werden, um austretendes Formiergas aus der Prozesskammer 11 zu entfernen. Spuren von ausgetretenem Formiergas können gegebenenfalls mit einem Sensor stromabwärts von

30

der Gasabfuhr 10 gemessen werden. Derartige Spuren von ausgetretenem Formiergas sind bereits während des Prozesses ein Maß für eine eventuelle Undichtigkeit des Brennstoffzellenstapels 1. Sofern eine Undichtigkeit festgestellt wird, können immer noch geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Während des Formierens ändert sich die Mikrostruktur der Brennstoffzellen. Dies geht mit einer Volumenänderung einher. Durch die Regelung der zumindest einen Kraftkomponente F (Figur 2) während des Verpressens kann diese Volumenänderung zumindest größtenteils ausgeglichen werden.

10 Brennstoffzellenstapel auf elektrische Funktionsfähigkeit prüfen

Sofern der Brennstoffzellenstapel 1 nach dem Formieren noch dicht ist und alle Brennstoffzellen reduziert sind, ist der Brennstoffzellenstapel 1 elektrisch betriebsbereit. Der Brennstoffzellenstapel 1 wird nun über die Ventile 7.3 und 7.4 (Figur 3) mit einem wasserstoffhaltigen Brenngas geflutet. Die Prozesskammer 11 wird über die Gaspendelung 9 und 10 mit einem Kathodengas geflutet, beispielsweise mit Luft. Sofern die Führung des Kathodengases über interne Kanäle erfolgt, werden diese benutzt, um den Brennstoffzellenstapel 1 mit Kathodengas zu füllen. Durch die Beaufschlagung des Anodenseite des Brennstoffzellenstapels 1 mit einem Brenngas und der Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels 1 mit einem Kathodengas entsteht im Brennstoffzellenstapel 1 eine elektrische Spannung. Ihre Höhe ist ein Maß für die Güte des Brennstoffzellenstapels 1. Die Spannung kann über die Kontaktelemente 6.2 und 6.4 abgegriffen und an den Anschlussklemmen A und D gemessen werden. Die Spannungsdifferenz zwischen einer bestimmten Anzahl von Einzelzellen 1.3, die über die Kontaktelemente 6.3 abgegriffen und an den Anschlussklemmen B und C gemessen werden kann, ist ein Maß für die Güte der Einzelzellen 1.3, die zwischen den Kontaktelementen 6.3 liegen. Bei bevorzugten Ausführungsformen wird jede einzelne Brennstoffzelle vermessen, da es ein Gütekriterium ist, das alle Einzelzellen nicht mehr als einen vorgegebenen Betrag von einer vorgegebenen Spannung abweichen. Gegebenenfalls können zumindest die Kon-

- 17 -

taktelemente 6.2 und 6.4 so ausgeführt werden, dass sie höhere Ströme als reine Spannungsabgriffe leiten können. Zum Prüfen des Brennstoffzellenstapels 1 kann über die Kontaktelemente 6.2 und 6.4 ein Strom aus dem Brennstoffzellenstapel 1 entnommen werden. Dabei sinkt die Spannung zwischen den Kontaktelementen 6.2 und 6.4 sowie jeweils zwischen den Kontaktelementen 6.3. Ein Prüfungskriterium kann dabei darin bestehen, dass der Verlauf der Abnahme der Spannung bei Erhöhung des Stroms nicht mehr als einen bestimmten Betrag von einem vordefinierten Verlauf abweicht.

10 Brennstoffzellenstapel entnehmen

Noch während der Zuganker 1.4 durch die Zugeinrichtung 8.1 unter mechanischer Spannung steht, wird brennstoffzellenstapelseitig vor dem Koppelement 8.2 ein Verriegelungselement 1.6 angebracht (Figur 2), das die Zugspannung im Zuganker 1.4 auch dann weiter hält, wenn das Koppelement 8.2 geöffnet und die Zugeinrichtung 8.1 vom Brennstoffzellenstapel 1 getrennt wird. Vorzugsweise verbleiben der Zuganker 1.4 und das Verriegelungselement 1.6 am Brennstoffzellenstapel 1. Es wird als vorteilhaft erachtet, wenn das Verriegelungselement 1.6 vor dem Erhitzen des Brennstoffzellenstapels 1 bereits lose vormontiert auf dem Zuganker 1.4 sitzt und erst nach dem erfolgreichen Verspannen des Brennstoffzellenstapels 1 angezogen beziehungsweise verriegelt wird. Bei einer geeigneten Ausführung der Durchführung des Koppelementes 8.2 kann das Anziehen beziehungsweise Verriegeln des Verriegelungselementes 1.6 von der kalten Seite der Grundplatte 5 her erfolgen.

25

Einbindung in den Produktionsprozess

Die vorstehend erläuterten Schritte können in einer einzelnen, frei stehenden Prozesskammer 11 durchgeführt werden, die als Montage- und Prüfkammer dient.

30

- 18 -

Es wird jedoch bevorzugt, wenn mehrere Prozesskammern in eine Einrichtung zur kontinuierlichen Montage integriert werden. Eine derartige Einrichtung zur kontinuierlichen Montage kann beispielsweise durch ein Karussell gebildet werden, an dessen Armen sich jeweils Prozesskammern 11 befinden. Vorzugsweise sind die Gaszu- und -abfuhrleitungen sowie die elektrischen Zuführungen in der Nabe des Karussells angeordnet und erstrecken sich sternförmig zu den Prozesskammern 11. Befindet sich das Karussell in einer bestimmten Position, so kann eine Haube 2 geöffnet und der aufgestapelte Brennstoffzellenstapel 1 kalt eingebaut werden. Anschließend wird die Haube 2 geschlossen und das Karussell dreht sich weiter. Alle Schritte zum Fügen und Prüfen laufen dann vorzugsweise in der Zeit ab, die das Karussell für eine Umdrehung benötigt. Befindet sich das Karussell wieder in der Ausgangsposition, so kann ein fertiger Brennstoffzellenstapel 1 entnommen und ein weiterer kalter aufgestapelter Brennstoffzellenstapel 1 aufgesetzt werden.

15

Die Erfindung ermöglicht es im Vergleich zum Stand der Technik, die bei der Herstellung von Brennstoffzellenstapeln auftretenden Ausschusszahlen deutlich zu senken und die Güte der Brennstoffzellenstapel zu erhöhen.

20

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

25

30

Bezugszeichenliste

	1	Brennstoffzellenstapel
5	1.1	obere Deckplatte
	1.2	untere Grundplatte
	1.3	Brennstoffzellen
	1.4	Zuganker
	1.5	Ausnehmung
10	1.6	Verriegelungselement
	2	Haube
	3	Heizelemente
	4	Isolierplatte
	5	Tisch
15	6	Einrichtung zur elektrischen Überwachung
	6.1	Halter
	6.2	Kontaktelement
	6.3	Kontaktelement
	6.4	Kontaktelement
20	7	Einrichtung zur Gaszu- und -abfuhr
	7.1	Rohrverbindung für die Anodengaszufuhr
	7.2	Rohrverbindung für die Anodengasabfuhr
	7.3	Ventil
	7.4	Ventil
25	7.5	Druckmesseinrichtung
	7.6	Gas-Steuer/Regelgerät
	7.7	Gaszufuhrleitung
	7.8	Gasabfuhrleitung
	8	Einrichtung zur mechanischen Spannung und Überwachung
30	8.1	Zugeinrichtung
	8.2	Koppelement

- 20 -

	8.3	Trägerrahmen
	8.4	Kraftsensor
	8.5	Wegsensor
	8.6	Regeleinrichtung
5	9	Gaszufuhr
	10	Gasabfuhr
	11	Prozesskammer
	A	Anschlussklemme
	B	Anschlussklemme
10	C	Anschlussklemme
	D	Anschlussklemme
	F	Kraftkomponente
	x	Richtung der Kraftkomponente

ANSPRÜCHE

5

1. Verfahren zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels, mit den Schritten:
10 a) Aufstapeln eines Brennstoffzellenstapels (1), und
 b) Fügen des Brennstoffzellenstapels (1) unter Erhitzen und Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1),
 dadurch gekennzeichnet, dass das Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels das Anlegen von zumindest einer geregelten Kraftkomponenten (F) an den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) umfasst.
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in die Regelung der zumindest einen Kraftkomponente (F) eine über zumindest einen Kraftsensor (8.4) erfasste Verspannung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) eingeht.
20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in die Regelung der zumindest einen Kraftkomponente (F) eine über zumindest einen Streckensensor (8.5) erfasste Änderung einer Abmessung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) eingeht.
25
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine geregelte Kraftkomponente durch eine Druck- und/oder Zugeinrichtung (8.1) erzeugt und vorzugsweise über zumindest
30

- 22 -

einen Zuganker (1.4) auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) übertragen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der
5 zumindest eine Zuganker (8.1) durch eine im dem aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) vorgesehene Ausnehmung (1.5) erstreckt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es weiterhin den folgenden während und/oder nach dem
10 Schritt b) durchgeführten Schritt umfasst:

c) Überprüfen des bereits zumindest teilweise gefügten Brennstoffzellenstapels (1) auf Gasdichtheit.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schritt
15 c) umfasst, dass der Brennstoffzellenstapel (1) mit einem Gas geflutet wird, vorzugsweise mit einem inerten Prüfgas, und dass eine eventuelle Undichtigkeit des Brennstoffzellenstapels (1) über einen Druckabfall des Gases erfasst wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle
20 einer erfassten Undichtigkeit des Brennstoffzellenstapels (1) der Brennstoffzellenstapel (1) weiter erhitzt und/oder der Brennstoffzellenstapel (1) weiter komprimiert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es weiterhin den folgenden während und/oder nach dem
25 Schritt b) und vorzugsweise während und/oder nach dem Schritt c) durchgeführten Schritt umfasst:

d) chemisches Formieren der Brennstoffzellen (1.3) des Brennstoffzellenstapels (1) durch einbringen eines reduzierenden Gases, insbesondere
30 eines reduzierenden Gasgemisches wie Wasserstoff und Stickstoff, in die Brennstoffzellen (1.3) des Brennstoffzellenstapels (1).

- 23 -

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine durch den Schritt d) hervorgerufene Volumenänderung des Brennstoffzellenstapels (1) durch eine entsprechende Kompression des Brennstoffzellenstapels (1) zu-

5 mindest teilweise ausgeglichen wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass es weiterhin den folgenden nach dem Schritt d) durchgeführten Schritt umfasst:

e) Prüfen der elektrischen Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellenstapels

10 (1).

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Durchführung des Schrittes e) umfasst, dass eine Anodenseite des Brennstoffzellenstapels (1) mit einem Brenngas und eine Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels (1) mit einem Kathodengas beaufschlagt wird, und dass eine in

15 dem Brennstoffzellenstapel (1) entstehende Spannung und/oder ein dem Brennstoffzellenstapel entnehmbarer Strom gemessen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass es weiterhin den folgenden Schritt umfasst:

20

f) Verbinden des zumindest einen Zugankers (1.4) mit zumindest einem Verriegelungselement (1.6), das die Verspannung des Brennstoffzellenstapels (1) zumindest näherungsweise auch dann aufrechterhält, wenn der zumindest eine Zuganker (1.4) von der Druck- und/oder Zugeinrichtung (8.1) gelöst wird.

25

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest die Schritte b) und d), vorzugsweise jedoch zumindest die Schritte b), c), d) und e) in einer gasdichten Prozesskammer (11) durchgeführt werden, vorzugsweise ohne die Prozesskammer (11) zwischen-

30 zeitlich zu öffnen.

15. Vorrichtung zur Herstellung eines Brennstoffzellenstapels (1), insbesondere Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, mit einer Heizeinrichtung (3) zum Erhitzen eines aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) und einer Einrichtung (8) zum Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (8) zum Komprimieren des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) eine Druck- und/oder Zugeinrichtung (8.1) umfasst, die dazu geeignet ist, zumindest eine geregelte Kraftkomponente (F) auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) auszuüben.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck- und/oder Zugeinrichtung (8.1) zur Regelung der zumindest einen Kraftkomponente (F) eine Regelungseinrichtung (8.6) zugeordnet ist, welche die zumindest eine Kraftkomponente (F) in Abhängigkeit von einer über zumindest einen Kraftsensor (8.4) erfassten Verspannung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) und/oder in Abhängigkeit von einer über zumindest einen Streckensensor (8.5) erfassten Änderung einer Abmessung des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) regelt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druck- und/oder Zugeinrichtung (8.1) dazu geeignet ist, die zumindest eine geregelte Kraftkomponente (F) über einen Zuganker (1.4) auf den aufgestapelten Brennstoffzellenstapel (1) zu übertragen.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine zur Aufnahme des aufgestapelten Brennstoffzellenstapels (1) vorgesehene gasdichte Prozesskammer (11) und eine Gaszufuhreinrichtung (7, 9) aufweist, die dazu vorgesehen ist, die Prozesskammer (11) und/oder einen in dieser angeordneten Brennstoffzellenstapel (1) mit Gas zu fluten.

- 25 -

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Gasabfuhreinrichtung (10) aufweist.

5 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine elektrische Prüfeinrichtung (6) aufweist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Mehrzahl von beweglichen gasdichten Prozesskammern (11) aufweist, die dazu vorgesehen sind, zur Durchführung einzelner Brennstoffzellenstapel- Herstellungsschritte zu verschiedenen Bearbeitungsstationen bewegt zu werden.

10

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mehrzahl der gasdichten Prozesskammern (11) in Form eines Karussells angeordnet sind.

15

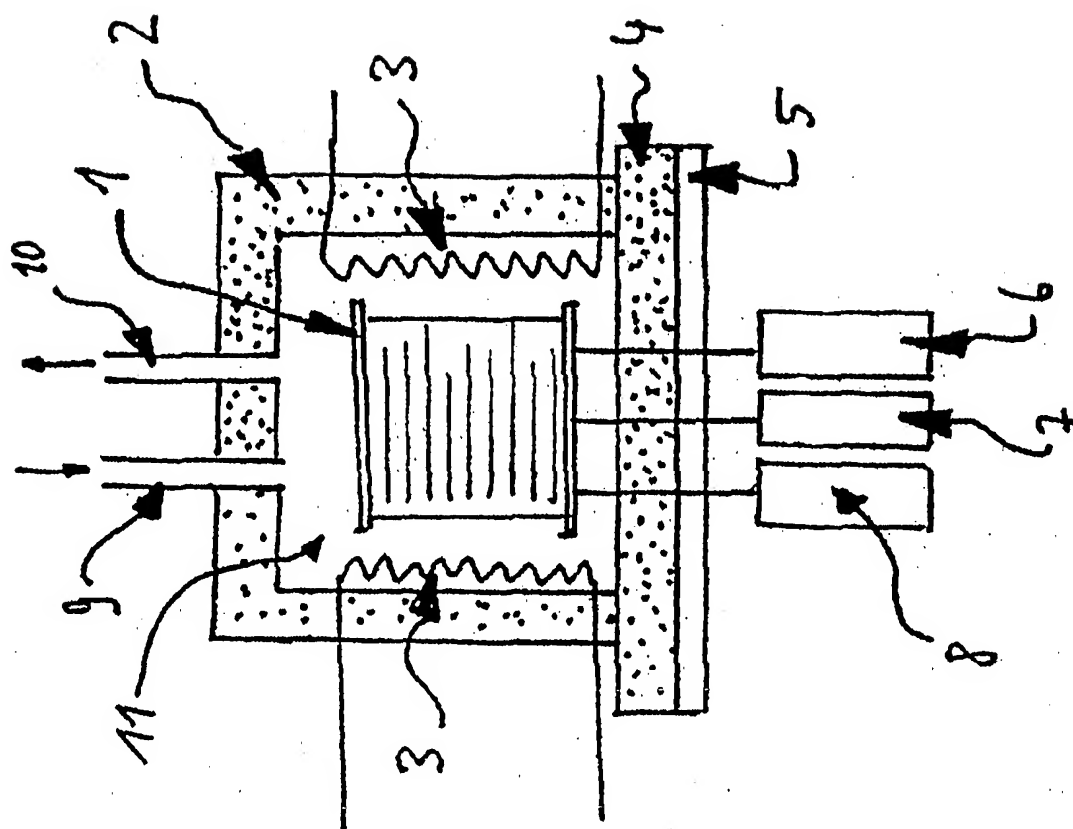


Fig. 1

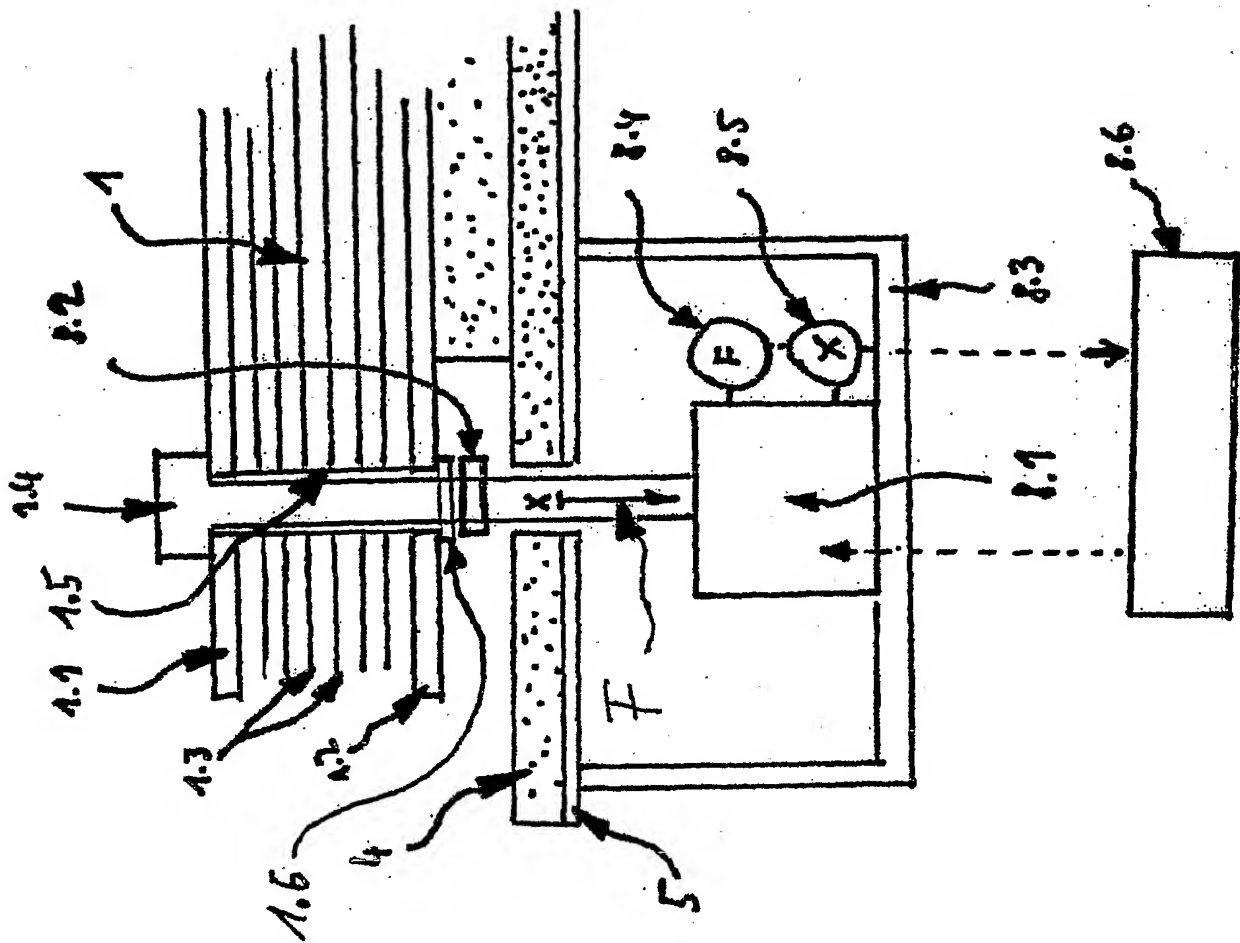


Fig. 2

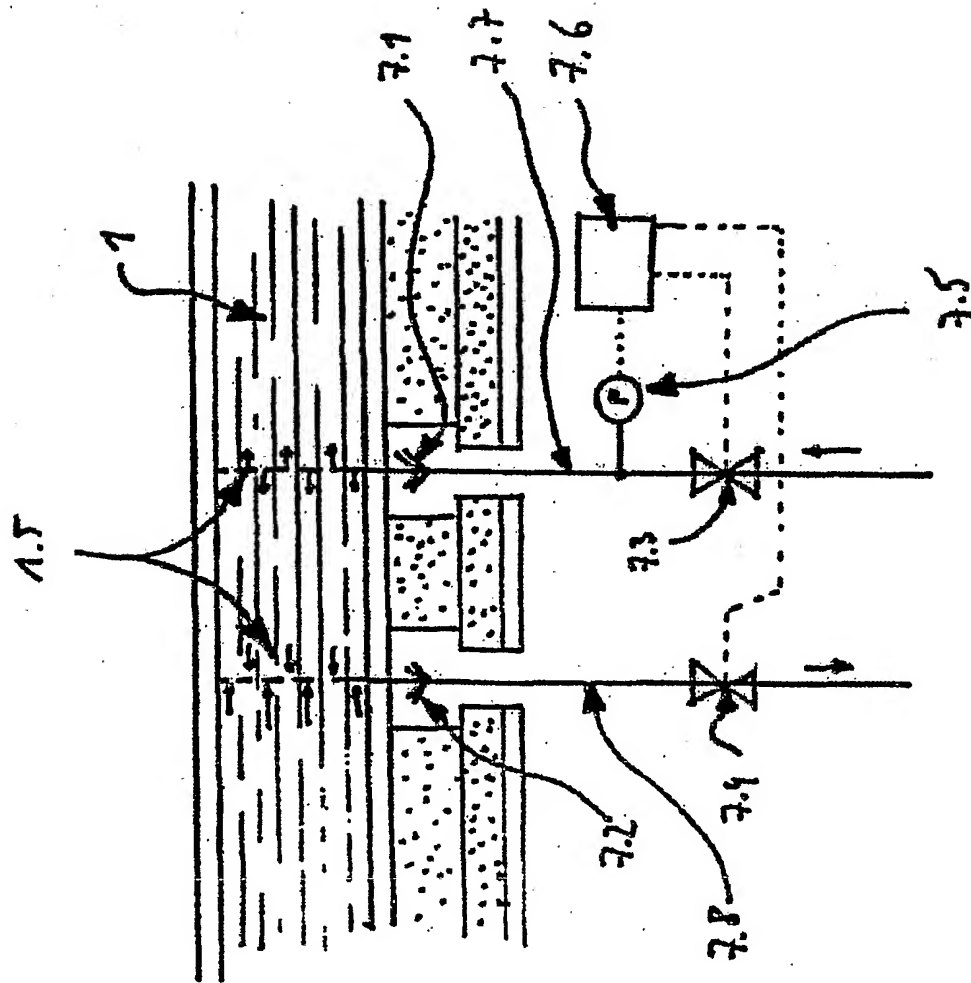


Fig. 3

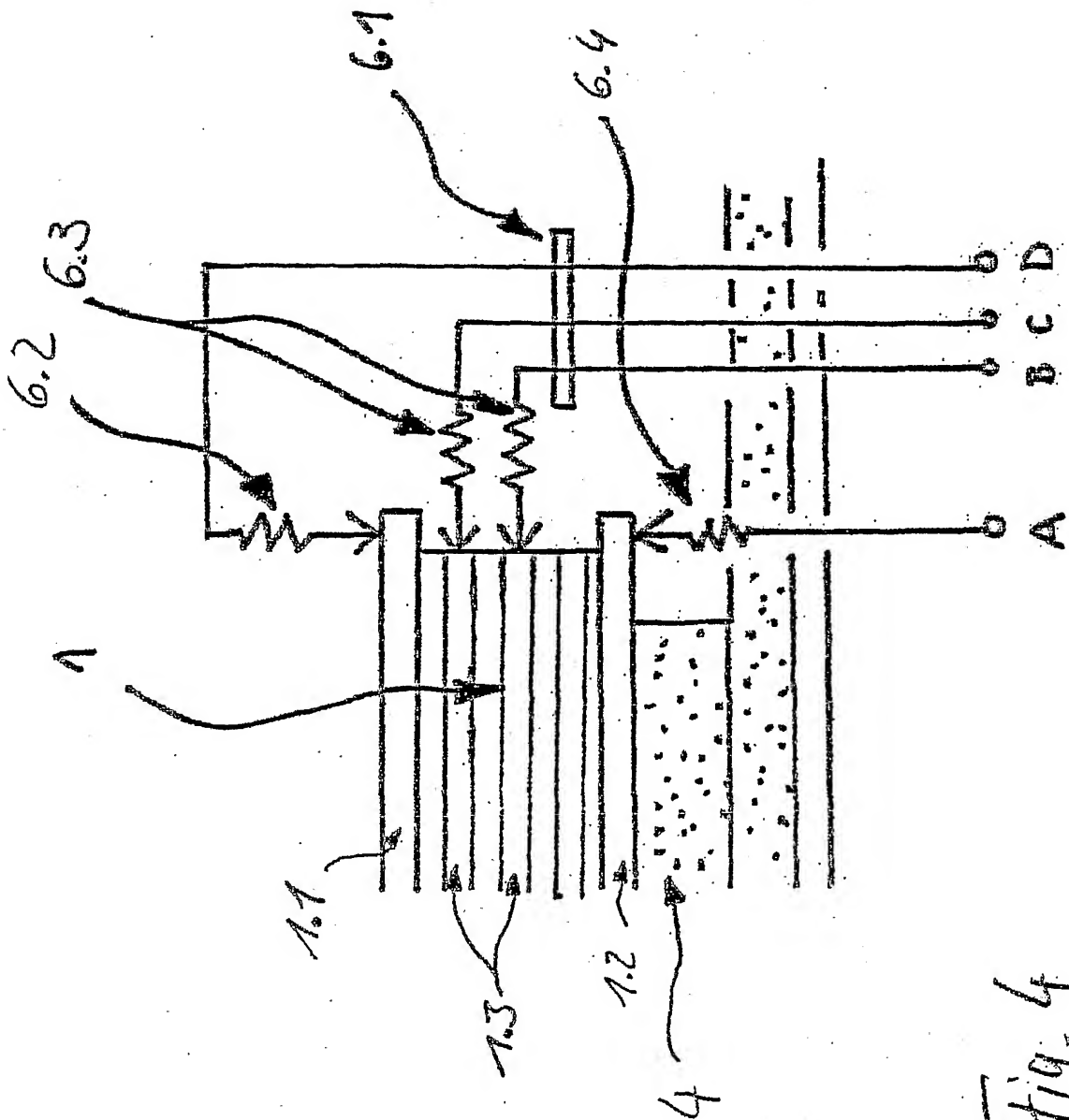


Fig. 4